

# **ХІМІЯ. ХІМІЧНА, БІОЛОГІЧНА ТА ХАРЧОВА ТЕХНОЛОГІЇ**

## **CHEMISTRY. CHEMICAL, BIOLOGICAL AND FOOD TECHNOLOGYS**

УДК 631.862.1.

**В. Павліський, докт. техн. наук; В. Подобайло, канд. техн. наук;  
М. Потапенко**

*Відокремлений структурний підрозділ Національного аграрного університету  
«Бережанський агротехнічний інститут»*

### **ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОДУКТІВ ФЕРМЕНТАЦІЇ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК МЕТОДОМ ПОСЛІДОВНОГО АНАЛІЗУ**

*Запропоновано методiku оцінювання ефективності продуктів ферментації біогазових установок методом послідовного статистичного контролю, який дозволяє значно зменшити кількість аналізів у порівнянні з методом однократної вибірки.*

**V.Pavlisky, V.Podobaylo, M.Potapenko**

### **DETERMINING OF FERMENTATION PRODUCTS EFFECTIVENESS OF BIOGAS BY METHOD OF CONSEQUENT ANALYSIS**

*It is suggested the method of assessment of fermentation products effectiveness of biodiesel installations by the method of logical statistic control, which allows to reduce the quantity of analysis in comparison with the method of choice.*

Робота виконана відповідно до державної науково-технічної програми “Ефективні та ресурсозберігаючі технології виробництва, перетворення та використання енергії в АПК”.

Сьогодні взаємозв'язок енергетики та економіки вимагає, насамперед, економії енергії на всіх рівнях виробництва і споживання в народному господарстві країни.

Поставлена мета досягається, коли приріст потреб, зокрема в паливі і енергії, на 75÷80% задовольняється за рахунок застосування відновлюваних джерел енергії та їхньої економії.

Проблема високої енергоємності нашого виробництва ускладнюється винятково низьким рівнем ефективності використання енергетичних ресурсів. Так, інтегральний коефіцієнт ефективного використання енергії первинного джерела в галузевих теплотехнологічних системах, який враховує енергетичну ефективність усієї сукупності технологічних операцій у переробці вихідної сировини в кінцевий товарний продукт, зрідка перевищує 10÷12% [1].

Безперечний теоретичний та практичний інтерес викликають питання екологізації промислового та сільськогосподарського виробництва на базі нових енергозберігаючих технологій для зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище. Екологізація означає процес послідовного впровадження

технологічних і управлінських рішень, які дозволяють підвищувати ефективність використання природних ресурсів поряд з поліпшенням чи хоча б із збереженням якості навколишнього середовища на локальному або регіональному рівнях.

Сьогодні у сільськогосподарському виробництві найбільшим забруднювачем навколишнього середовища є тваринництво. Технологічні схеми, які застосовуються для видалення і використання відходів тваринництва, пов'язані з тривалим зберіганням необроблених відходів або з вивезенням їх на поля, що шкідливо впливає на оточуюче довкілля та на якість продуктів рослинництва [2].

Найбільш перспективним методом утилізації відходів тваринництва, поряд з хімічними та фізичними методами, є метанове бродіння.

Анаеробне бродіння дозволяє вирішити проблеми екологічного, енергетичного та агрохімічного характеру і може бути базовою основою для створення екологічно чистих технологій переробки органічних відходів.

Метаногенез забезпечує обеззаражування органічних відходів, покращення їх якісних показників як добрива та отримання локального енергоносія – біогазу.

Енергія отриманого біогазу значно перевищує затрати енергії на метаногенез, яка становить 40÷47% залежно від пори року [1]. Біогаз можна використовувати для виробництва теплової і електричної енергії.

Для об'єктивної оцінки ефективності виробництва біогазу необхідно враховувати всі додаткові ефекти і переваги, які дає анаеробна переробка відходів.

На наш погляд, при виконанні державної програми зі створення тваринницьких комплексів, затрати на біогазові установки необхідно віднести до вартості обладнання, яке використовується для обеззаражування відходів тваринництва, виробництва повноцінних добрив та системи заходів із захисту навколишнього середовища. Тобто питання побудови біогазових установок при тваринницьких комплексах, в першу чергу, необхідно розглядати як ефективний засіб охорони довкілля та поліпшення фізико-хімічних властивостей ґрунтів. Це повинно бути основною метою застосування анаеробної ферментації сільськогосподарських відходів, тоді отриманий біогаз можна розглядати як дешевий енергоносіє.

Кількість біогазу, який утворюється в метантенку, залежить від кількості перероблюваної за добу продукції, її якісного складу і температурного режиму ферментації. Для нормальної життєдіяльності анаеробних бактерій необхідно, щоб мінімальний вміст азоту складав 7 мг на 100 кг органічної речовини, а оптимальне співвідношення азот-вуглець знаходилось у межах 0,06...0,1. Тому вміст органічної речовини визначає завантаження площі бродіння, а її величина залежить від швидкості розкладу та осідання зважених частинок [2].

Оптимальне завантаження площі бродіння в гноївці окремих видів тварин на 1м<sup>3</sup> субстрату становить: корови – 6%, свині – 3%, птиця – 1,5% [1]. Коли вміст сухої речовини буде меншим 1%, то процеси метаноутворення пасивуються, тому підтримання гомогенного середовища в метантенку є обов'язковою умовою, яка виконується шляхом переміщення субстрату.

Проте до цього часу деякі важливі технологічні параметри роботи метантенків розроблені недостатньо. Зокрема, мало досліджена структура продуктів ферментації та швидкість її зміни в процесі метаноутворення.

Технологічний процес отримання біогазу потрібно використовувати так, щоб в результаті перемішування субстрату з новою порцією, яка надходить у метантенк, одержати продукт ферментації з оптимальним вмістом дисперсної фази  $m_{опт}$ . Підтримуючи гомогенне середовище в метантенку під час циклу бродіння, після закінчення якого здійснюється відбір верхньої частини продуктів ферментації та видалення шламу з нижньої частини, субстрат повинен мати допустимий нижній вміст дисперсної фази  $m_{дн}$  [3]. Цілком очевидно, що якісні параметри продуктів

ферментації, які надходять у метантенк, також повинні бути в межах оптимальності, тобто  $m_{opt} - m_{ait}$ .

Але в літературних джерелах [1,2] подаються лише однозначні дані про вміст сухої речовини в продуктах ферментації, які наведені вище.

Для вирішення цієї проблеми нами були проведені досліді з визначення фракційного складу свинячої гноївки, таблиця 1.

Таблиця 1 - Фракційний склад свинячої гноївки

Розмір частинок, мм	5-4	4-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25
Вміст частинок, %	8,3	17,6	7,8	18,5	11,4	5,7	30,7

По результатах досліджень визначили еквівалентний діаметр суспензії:

$$\frac{1}{d_e} = \sum \frac{p_i}{d_i}, \quad (1)$$

де  $d_i$  – діаметр частинок  $i$ -ої фракції суспензії;

$p_i$  – відносний вміст фракції.

В результаті розрахунків отримали:  $d_e = 0.568 \pm 0.06 \text{ мм}$ .

Гідравлічна крупність частинок, тобто швидкість осідання часток такого діаметру в воді становить:  $V = 2.83 \cdot \frac{d_e^2}{\eta} \cdot \rho \cdot g$  [4]. Для отриманих значень гідравлічної крупності і  $d_e$  число Рейнольда дорівнює  $Re = 1$ , а  $K = 4.2 - 4.5$  [4]. Тоді за формулою (1) [3] можна визначити швидкість осідання частинок в субстраті при його об'ємній концентрації  $1 - m_{don}$ ,  $v = 1.275 \text{ мм/с}$ .

Якщо за  $m_{opt}$  прийняти значення, які наведені вище, то з формули (5) [3] після її перетворень визначимо значення  $m_{don}$ .

$$m_{don} = 1 - \frac{v(1 - \alpha)}{g(2 - \alpha)}, \quad (2)$$

де,  $v$  – гідравлічна крупність часток,  $\text{мм/с}$ ;

$g$  – швидкість осадження частинок у субстраті,  $\text{мм/с}$ ;

$\alpha$  – пористість осаду продуктів ферментації  $\alpha = 0,2$  і не залежить від вологості.

Підставивши значення параметрів у формулу (2), отримаємо  $m_{don} = 0,0135$ , тобто мінімально допустима кількість сухої речовини в  $1 \text{ м}^3$  субстракту повинна бути  $1,35 \text{ кг}$ .

Щоб визначити якісні характеристики продуктів ферментації, які будуть задіяні в процесі вироблення біогазу, застосовують метод відбору проб і виділення з них твердої фракції.

Одним із головних недоліків зазначеного методу контролю є його значна трудоемність, що вимагає великих затрат часу. Для здійснення контролю застосовується однократна вибірка, тобто здійснення визначеної заздалегідь фіксованої кількості числа проб, після цього робиться висновок про ступінь відповідності субстрату технічним вимогам.

Проте, незважаючи на наявність великої різниці в показках проб від величини допуску, дана методика не дозволяє зменшити кількість вимірів у вибірці, а отримані результати не мають прогнозованої ймовірності, тому не відображають об'єктивно процес контролю.

Застосування методу послідовного аналізу [5], який базується на критерії відношення ймовірностей, дозволяє значно скоротити кількість проб у порівнянні з методикою однократної виборки і отримувати оцінювання процесу на необхідному рівні ймовірності. При цьому множина  $W$  розділяється на дві підмножини:  $W_0$  –

прийняття гіпотези  $H_0$ , яка допускає, що контрольований параметр за твердою фракцією знаходиться в межах допуску, або  $W_1$  – прийняття гіпотези  $H_1$ , яка допускає, що контрольований параметр не відповідає вимогам допуску.

Цей метод передбачає, після кожного виміру, один із наступних висновків:

- гіпотеза  $H_0$  приймається, тобто контрольований параметр знаходиться в межах допуску;
- гіпотеза  $H_0$  не приймається, а приймається гіпотеза  $H_1$  – контрольований параметр знаходиться за межами допуску;
- виміри необхідно продовжити.

Якщо прийняти, що дійсне значення твердої фракції субстрату  $m$ , а  $m_0$  і  $m_1$  – відповідно крайні межі її допустимих значень, то після кожного вимірювання приймається:

- $m \leq m_0$  – вірна гіпотеза  $H_0$ ;
- $m \geq m_1$  – вірна гіпотеза  $H_1$ ;
- $m_0 \leq m < m_1$  – продовження вимірів;

Ймовірності  $p_{ок}$  і  $p_{1к}$  отриманих виборок, які належать відповідно підмножинам  $W_0$  і  $W_1$ , виражаються через сумісні розподіли ймовірностей вибірки  $x_1, x_2, \dots, x_k$ . При кожному контролі визначається співвідношення ймовірностей  $p_{ок}$  і  $p_{1к}$  і результат порівнюється з постійними величинами  $A$  і  $B$ . Якщо при цьому  $p_{1к} / p_{ок} > A$ , то контроль закінчується прийняттям гіпотези  $H_1$ , і вибірки належать до підмножини  $W_1$ , а якщо  $p_{1к} / p_{ок} \leq B$ , то процес закінчується прийняттям гіпотези  $H_0$ . Це означає, що вибірка належить до підмножини  $W_0$ , а технологічні параметри субстрату знаходяться в межах допуску. Коефіцієнти  $A$  і  $B$  визначаються за залежностями:

$$\hat{A} = \frac{1 - \beta}{\alpha}; \quad \hat{B} = \frac{\beta}{1 - \alpha}, \quad (3)$$

де  $\alpha$  – допустима ймовірність прийняття гіпотези  $H_1$ , тоді коли дійсна гіпотеза  $H_0$ ;

$\beta$  – допустима ймовірність прийняття гіпотези  $H_0$ , тоді коли дійсна гіпотеза  $H_1$ .

У випадку коли  $B < [p_{1к} / p_{ок}] < A$ , необхідно зробити наступну вибірку.

Якщо досліджувана вибірка апроксимується нормальним законом розподілу, то умови контролю при послідовному аналізі визначаються за формулою [5].

$$\hat{A} < \left\{ \frac{1}{S^k \sqrt{(2\pi)^k}} \exp \left[ -\sum_{i=1}^k \frac{(x_i - m_i)^2}{2S^2} \right] : \frac{1}{S^k \sqrt{(2\pi)^k}} \exp \left[ -\sum_{i=1}^k \frac{(x_i - m_0)^2}{2S^2} \right] \right\} < \hat{A}, \quad (4)$$

де  $S^2$  – дисперсія контрольованої величини;

$k$  – порядковий номер вимірювання.

Для оцінки ефективності методу послідовного контролю можна визначити необхідну кількість вимірів:

$$n = \frac{S_i^2 t_2^2}{\delta^2}; \quad (5)$$

де  $t$  – коефіцієнт Стюдента;

$\delta$  – допустима абсолютна величина відхилення від середнього значення допуску;

$$\delta = \frac{m_1 - m_0}{2}.$$

Щоб значно спростити підрахунки, приймаємо дворівневу систему: субстрат, який знаходиться в допустимих межах змінюваності, отримує оцінку «0», а той, що вийшов за допустимі межі, отримує оцінку «1». В цьому випадку зміна складу дисперсної фази задовільно апроксимується біноміальним розподілом.

Тоді умову перевірки якості субстрату при послідовному аналізі можна визначити з виразу:

$$\frac{\ln\left(\frac{\beta}{1-\alpha}\right)}{\ln\left(\frac{g_1}{g_0}\right) - \ln\left(\frac{1-g_1}{1-g_0}\right)} + k \frac{\ln\left(\frac{1-g_0}{1-g_1}\right)}{\ln\left(\frac{g_1}{g_0}\right) - \ln\left(\frac{1-g_1}{1-g_0}\right)} < \sum_{i=1}^k x_k < \frac{\ln\left(\frac{1-\beta}{\alpha}\right)}{\ln\left(\frac{g_1}{g_0}\right) - \ln\left(\frac{1-g_1}{1-g_0}\right)} + k \frac{\ln\left(\frac{1-g_0}{1-g_1}\right)}{\ln\left(\frac{g_1}{g_0}\right) - \ln\left(\frac{1-g_1}{1-g_0}\right)}, \quad (6)$$

де  $k$  - порядковий номер вимірювання;

$x_k$  - результат  $k$ -го вимірювання, який може приймати значення «0» або «1»;

$g_0$  - гіпотеза про те, що відхилення від оптимуму не перевищує  $g_0$ ;

$g_1$  - альтернатива гіпотезі  $g_0$ ;

$\alpha$  - доля ризику прийняти гіпотезу  $g_0$  за  $g_1$ ;

$\beta$  - доля ризику прийняти гіпотезу  $g_1$  за  $g_0$ .

Коли після чергового  $k$ -го вимірювання порушується права нерівність, то гіпотеза  $g_0$  не може бути прийнятою, а повинна бути прийнята з ймовірністю  $p = 1 - \beta$  гіпотеза  $g_1$ . Ймовірність прийняття гіпотези  $g_0$  при дійсній долі дисперсної фази  $g$ , яка виходить за допустимі межі, визначається за оперативною характеристикою:

$$L(q) = \frac{\left(\frac{1-\beta}{\alpha}\right)^h - 1}{\left(\frac{1-\beta}{\alpha}\right)^h - \left(\frac{\beta}{1-\alpha}\right)^h}. \quad (7)$$

Значення  $h$  можна визначити з виразу:

$$g = \frac{1 - \left(\frac{1-g_1}{1-g_0}\right)^h}{\left(\frac{g_1}{g_0}\right)^h - \left(\frac{1-g_1}{1-g_0}\right)^h}. \quad (8)$$

Для оцінки ймовірності прийняття нульової гіпотези розглянемо характер зміни оперативної характеристики при зміні  $g_1$  в інтервалі 0,2...0,9 і  $\alpha = 0,1$ ;  $\beta = 0,1$ ;  $g_0 = 0,1$ .

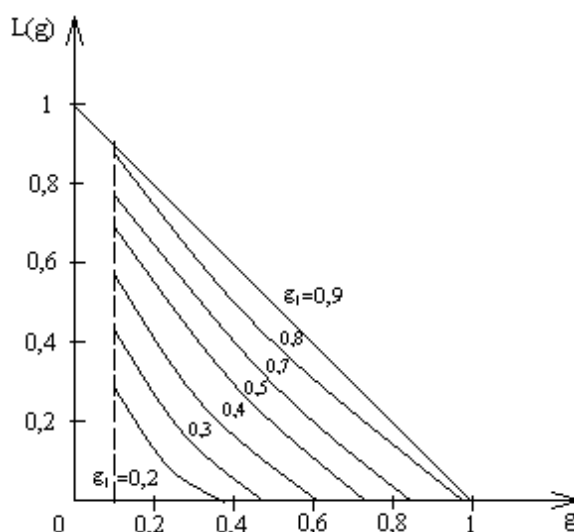


Рисунок 1 - Криві оперативних характеристик при  $\alpha = 0,1$ ;  $\beta = 0,1$ ;  $g_0 = 0,1$  і  $g_1 = 0,2...0,9$ .

Для всіх випадків, коли  $g > g_o$  із збільшенням  $g$  зростає  $L(q)$ .

Приймаючи  $g_o = const$  і послідовно змінюючи  $q$  від більшого значення до меншого, можна отримати сімейство нерівностей (5), які утворюють у координатах  $\sum_{i=1}^k \tilde{\sigma}, k$  області, які характеризують ефективність продуктів ферментації. При  $g_1 > 0,8$  протікання технологічного процесу метаноутворення можна визнати незадовільним, при  $0,5 < g_2 < 0,8$  – задовільним, а при  $0,1 < g < 0,5$  – хорошим або оптимальним.

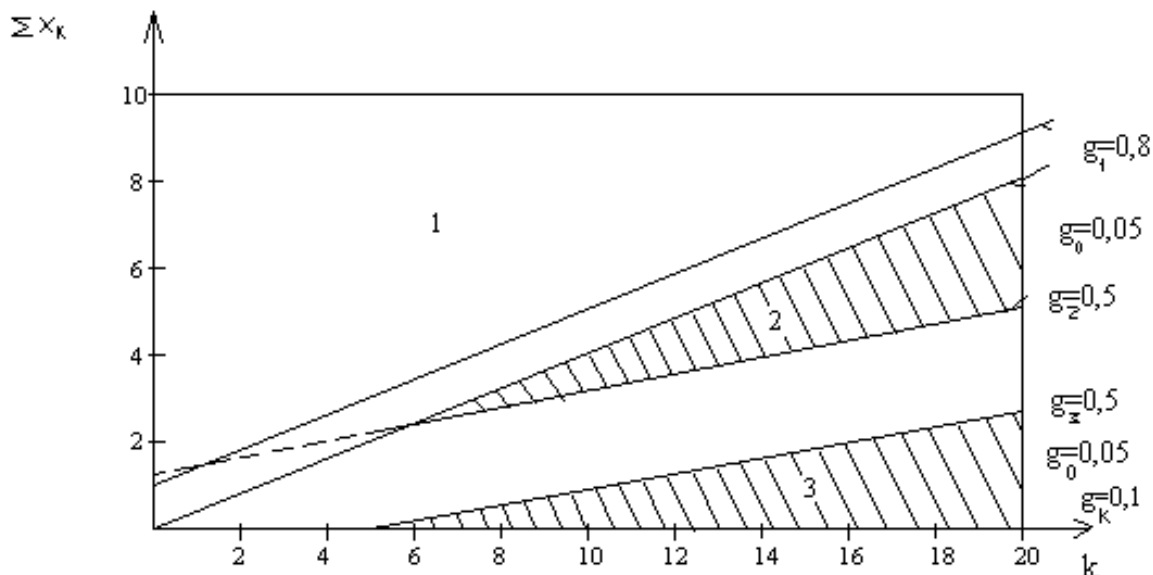


Рисунок 2 - Номограма для визначення ефективності продуктів метаноутворення: 1 – незадовільно; 2 – задовільно; 3 – добре.

Якщо після чергового вимірювання точка поточного додавання  $\sum \tilde{\sigma}_k$  буде в одній із зон 1, 2, 3, то відповідно до цієї зони приймається якісна оцінка субстрату.

Відповідальним етапом послідовного контролю є вибір допусків зміни твердої фракції суспензії та коефіцієнтів  $\alpha$  і  $\beta$ . Але число вимірів, які необхідні для прийняття рішення, за всіма вибірками різні. Кількість вимірів при різних методах контролю наведена в таблиці 2.

Таблиця 2 - Число вимірів при різних методах контролю

Вибірка	Метод послідовного аналізу			Метод однократної вибірки		
	$\alpha = \beta$			$\alpha = \beta$		
	0,05	0,1	0,2	0,05	0,1	0,2
1	8	6	4	32	24	14
2	3	2	2	30	21	12
3	4	3	2	27	19	12
4	6	5	4	23	16	10

При контролі якості суспензії метантенка використовуються випадкові функції з кореляційним зв'язком. Реальну послідовність вимірів доцільно замінити біноміальною, тому що при  $K > 6$  нормальний розподіл апроксимується біноміальним при незначних похибках.

### **Висновки**

Застосування методу послідовного аналізу якісного складу продуктів ферментації метантенків дозволяє зменшити в середньому в 6 разів кількість аналізів у порівнянні з методом однократної вибірки, при однаковій надійності отриманих результатів.

### **Література**

1. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Энергозбереження в агропромисловому комплексі. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001 – 975 с.
2. Баротфи Н., Рафаи П. Энергосберегающие технологии и агрегаты на животноводческих фермах. - М.: В.О. Агропромиздат, 1988. – 227 с.
3. Подобайло В.Г., Нестеренко А.В., Семенен І.А. Оптимізація робочого циклу метантенка періодичної дії// Науковий збірник НАУ.- №80.- Київ, 2005 – 240 – 244 с.
4. Минц Д.М., Шуберт С.А. Гидравлика зернистых материалов.- М-Л.: Стойиздат, 1985 -443 с.
5. Вальд А. Последовательный анализ. -М.: Физматиздат, 1980 – 316 с.

*Одержано 15.02.2007 р.*